



## Ecobilan énergétique des filières fruits et légumes Innovations méthodologiques en cours

Pauline Feschet, Ludovic Temple, Hubert de Bon, Denis Loeillet

### ► To cite this version:

Pauline Feschet, Ludovic Temple, Hubert de Bon, Denis Loeillet. Ecobilan énergétique des filières fruits et légumes Innovations méthodologiques en cours. International Conference on Sustainable Development Twenty Years on: New Theoretical Interpretations, Methodological Innovations, and Fields of Further Exploration,, Nov 2008, France. cirad-00952764

**HAL Id: cirad-00952764**

**<http://hal.cirad.fr/cirad-00952764>**

Submitted on 27 Feb 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Ecobilan énergétique des filières fruits et légumes Innovations méthodologiques en cours**

-

P. Feschet, L. Temple, H. De Bon, D. Loeillet

### Résumé :

L'épuisement annoncé des ressources naturelles non renouvelables et les externalités environnementales liées à la consommation d'énergies fossiles pose la question énergétique au centre de l'évolution du paradigme technologique de l'agriculture et de l'agro-alimentaire. Quel est le caractère durable de l'agriculture en abordant l'équité intergénérationnelle, l'efficacité économique et l'impact environnemental ? Cette communication étudie l'impact du coût énergétique dans les choix technologiques à privilégier et les dynamiques de localisation des productions horticoles : comment choisir entre une production de proximité (chauffage et protection sous abris des cultures), et une délocalisation dans des zones pédo-climatiquement plus avantageuses (prise en compte du transport induit). Pour y répondre, l'analyse aborde les limites des différentes approches conventionnelles mobilisables depuis les années 70. A partir de ces limites elle propose une méthode d'évaluation des écobilans énergétiques dans les filières fruits et légumes. Cette démarche est élaborée à partir de tests sur les productions de melon et de salade. Elle propose de distinguer les phases de production, de conditionnement et de transport ainsi que trois niveaux d'analyse énergétique (énergie directe, indirecte et énergie issue du capital). A partir d'une matrice de coefficients énergétiques, les flux sont convertis en unité commune, le MJ puis le Tep, unité qui permet aisément d'obtenir le coût financier de l'écobilan énergétique. L'évaluation économique a pour objectif d'évaluer symétriquement les coûts réels et les coûts cachés. Il est de ce fait proposé de prendre en considération le coût énergétique du traitement des déchets. Ce travail permet de simuler l'impact d'une hausse des prix de l'énergie sur les filières horticoles et de faire des comparaisons intra et inter-filière pour proposer une méthode de localisation des lieux d'innovations en anticipant les trajectoires techniques d'évolution des systèmes de production.

### Mots-clés :

Ecobilan, filière, fruits et légumes, consommation énergétique, méthodologie

### Coordonnées auteurs :

#### **Pauline FESCHET,**

CIRAD, UR Systèmes de production bananes, plantains et ananas  
Boulevard de la Lironde - TA B-26 / PS4 - 34398 Montpellier Cedex 5  
Tel : + 33 4 67 61 44 38 - Secr : +33 4 67 61 71 52 - Fax: +33 4 67 61 59 28  
Email : [pauline.feschet@cirad.fr](mailto:pauline.feschet@cirad.fr)

#### **Ludovic TEMPLE**

CIRAD, UMR Marchés, Organisations, Institutions et Stratégies d'Acteurs (MOISA)  
73 rue Jean-François Breton - TA C-99 / 15 (Bât. 15, Bur. 231) - 34398 Montpellier Cedex 5  
Tél : +33 4 67 61 44 45 - Secr. : +33 4 67 61 55 37 - Fax : +33 4 67 61 44 15 -  
Email : [ludovic.temple@cirad.fr](mailto:ludovic.temple@cirad.fr)

**Hubert de BON**

CIRAD, UPR Production fruitière,

Boulevard de la Lironde - TA B-77 / PS4 (Bât. PS IV, Bur. 112) - 34398 Montpellier Cedex 5

Tél : +33 4 67 61 65 66 - Secr. : +33 4 67 61 71 53 - Fax : +33 4 67 61 56 88 -

Email : [hubert.de\\_bon@cirad.fr](mailto:hubert.de_bon@cirad.fr)

**Denis LOEILLET**

CIRAD, UPR Systèmes de culture bananes, plantains et ananas

Observatoire Des Marchés - Fruitrop

Boulevard de la Lironde - TA B-26 / PS4 (Bât. PSIV, Bur. 4) - 34398 Montpellier Cedex 5

Tél: +33 4 67 61 59 48- Secr : +33 4 67 61 71 52 - Fax: +33 4 67 61 59 28

Email : [denis.loeillet@cirad.fr](mailto:denis.loeillet@cirad.fr)

## Introduction

Si le choc pétrolier des années 70 a constitué une première interpellation pour l'orientation des choix technologiques en agriculture et dans les autres secteurs d'activités, l'augmentation structurelle des prix de l'énergie de ces dernières années questionne la durabilité de systèmes productifs des agricultures fortement consommateurs d'énergies fossiles du fait de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. Cette interpellation porte sur trois questionnements, de type économique, environnemental et social. Elle intensifie la pression de la demande sociale sur les acteurs des filières agricoles, sur l'orientation des choix technologiques dans une meilleure prise en compte des externalités environnementales et sociales de l'activité agricole.

Les chocs pétroliers de 1973 et 1979, créés par une augmentation des prix du pétrole liée à une organisation du marché de cette ressource, ont entraîné une forte hausse des prix de l'énergie qui ont conduit les pays industriels à opérer de profonds réajustements dans leurs systèmes énergétiques mais également des procédés industriels. En revanche, ces chocs ont eu a priori peu d'impact sur l'agriculture qui a poursuivi une trajectoire technologique mobilisant des intrants fortement consommateurs d'énergie.

La crise actuelle est plus grave car à des perspectives d'épuisements de la ressource s'additionne les externalités environnementales de la consommation d'énergie fossiles à travers l'effet de serre. D'un point de vue social, l'accroissement des prix de l'énergie a des conséquences contrastées. En première analyse, elle augmente le prix des produits alimentaires les plus consommateurs d'énergie dont particulièrement les produits frais, et d'accentuer les inégalités d'accès à ces produits. Dans les pays émergents par exemple (Brésil), la consommation de ces produits dans les zones urbaines devient une consommation de luxe. En deuxième analyse, elle contribue aussi à réhabiliter des circuits d'approvisionnements de proximité. Le concept de « ceinture verte maraîchère » est redécouvert par les communautés urbaines. A un autre niveau, l'épuisement progressif des ressources, rendent le marché de l'énergie fragile et provoquent irrémédiablement des hausses des prix de l'énergie, qui devraient selon les scénarios mobilisables s'amplifier (Wingert, 2006). Il s'ensuit la nécessité de s'interroger sur la manière de changer de paradigme technologique en agriculture conduisant à modifier la fonction de production actuelle.

En effet le secteur agricole et celui de l'industrie agroalimentaire qui lui est lié, sont particulièrement concernés par les évolutions suscitées. Les modes de production agricole sont fortement dépendants des énergies fossiles, directement utilisées pour les tracteurs et autres équipements (pompes pour l'irrigation, serres, séchoirs, chambres froides...), mais aussi indirectement pour la fabrication de ces machines, d'engrais chimiques et de nombreux intrants, ou encore pour le transport des produits : fret aérien, maritime ou routier.

Outre cette dimension économique, se sont également les pressions sociales, institutionnelles et politiques qui conduisent les professionnels de l'agriculture à prendre en considération la question énergétique comme un élément croissant de pilotage des innovations techniques. Ces pressions s'expriment par l'évolution des normes existantes au niveau des conditions d'utilisation des intrants dans les systèmes de production, au niveau du ciseau des prix entre le prix des intrants et celui des produits, au niveau des normes en émergence sur les produits et qui pourraient devenir demain le principal élément structurant de la compétitivité de ces produits. Pour de nombreux auteurs, l'augmentation actuelle des prix alimentaires serait pour partie liée à l'inflation créée par l'augmentation des prix de l'énergie compte tenu

de la croissance d'intensité énergétique de la fonction de production agricole et agro-alimentaire (Icrisat, 2008). Cette relation reste cependant peu démontrée.

Les techniques utilisées par le secteur agricole apparaissent au cœur de grandes problématiques contemporaines. Au sein de ce secteur, les productions horticoles dont le marché international est en pleine croissance, sont particulièrement questionnées en termes de viabilité économique des trajectoires technologiques mobilisées. En effet les filières horticoles, autant pour les marchés nationaux que d'exportation, sont souvent décrites comme particulièrement consommatrices en ressources (énergies fossiles, eau...) et intrants chimiques (engrais, pesticides, etc.), dommageables pour la santé des hommes comme pour celle des écosystèmes (sol, eau, climat).

Une des interpellations porte sur l'accélération des mouvements de délocalisation des zones de production qui par hypothèse augmente le coût écologique et énergétique lié au transport de ces produits. Ainsi, si les calendriers de consommation dans les pays industriels permettent désormais de consommer des fruits et légumes frais toute l'année (consommer des tomates et des fraises en hiver) grâce aux délocalisations dans l'hémisphère sud (Chili, Sénégal, Kenya...) des zones de production, cette tendance actuelle est-elle énergétiquement durable ?

Ainsi, à travers la problématique énergétique, on interroge le caractère durable de l'agriculture, en soulevant les questions d'équité intergénérationnelle, d'efficacité économique et d'impact environnemental.

La consommation de ressources non renouvelables est devenue un sujet stratégique pour l'évolution technologique de l'activité agricole. Ainsi par exemple le Grenelle de l'Environnement qui s'est tenu en octobre 2008, a confirmé la mise en place d'un étiquetage spécifique (normes) sur les produits alimentaires, relatif à leur impact environnemental et leur coût énergétique, d'ici la fin 2010. Les conditions d'élaboration de ces normes restent cependant à définir ; cette communication apporte sa contribution à cette définition.

La question qui nous posons est la suivante : quel est l'impact du coût énergétique sur les choix technologiques à privilégier et les dynamiques de localisation des productions horticoles? En d'autres termes, vaut-il mieux produire proche des zones de consommation, ce qui implique bien souvent le chauffage et la protection sous abris des cultures, ou bien délocaliser dans des zones pédo-climatiquement plus avantageuses, auquel cas il faut prendre en compte le transport induit ?

Pour répondre à cette question nous proposons de faire un point sur l'état de l'art sur la thématique de la consommation énergétique en agriculture, puis de poser les bases d'une méthode d'évaluation de la consommation énergétique.

## 1. Revue de littérature

Dans les années 70, les premiers travaux sur la consommation d'énergie en agriculture ont été conduits dans le contexte méthodologique et technologique de l'époque.. Après avoir été largement traité à la suite des chocs pétroliers dans les années 70, la problématique de la consommation d'énergie en agriculture a été quelque peu délaissée, avant d'être à nouveau au centre des préoccupations depuis le début du millénaire. Ce nouveau contexte « couple » désormais à un contexte de crise énergétique celui de fortes préoccupations environnementales.

La synthèse bibliographique suivante rend compte des principaux travaux méthodologiques conduits dans le monde depuis les années 70 (USA, Canada, Danemark, Suisse, France et Angleterre). Le contexte et les préoccupations étant différents selon le moment d'étude, la problématique énergétique n'a pas été envisagée de la même manière que se soit aux prémices, ou dans les études contemporaines, il y a eu une nette évolution des orientations de recherche.

Ainsi, les premières études, (Pimentel, Hannon, Odum) ont été initiées suites aux chocs pétroliers dans un objectif de déterminer le coût énergétique des productions agricoles des grandes cultures céréalières (maïs, blé...). L'étude de Pimentel (Pimentel, 1980) est considérée comme la référence dans ce domaine. Elle produit un grand nombre de coefficients énergétiques, à la base même des méthodes d'évaluation des coûts énergétiques. La démarche mobilisée est cependant de plus en plus controversée notamment dans sa cohérence et son manque d'uniformité (ruptures de chaîne).

Cette démarche a ainsi été réactualisée, uniformisée et surtout adaptée au système international de mesure, par la *International Commission of Agricultural Engineering* (CIGR) en 1999 (CIGR, 1999). En 1997, au Canada, Coxworth (Coxworth, 1997) s'est intéressé à la problématique des gaz à effets de serre (GES). Il a lui aussi proposé sa propre conception du bilan énergétique. Dans le cadre du programme CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis), Fisher (Fisher, 1999) propose de compléter la liste d'indicateurs environnementaux par un module consacré à la consommation d'énergie en agriculture, afin de quantifier l'émission de GES qui lui est attribuée, pour cela il s'appuie sur le concept de « *cumulated energy use* ». Un second programme a été mené par le Swiss Center for Life Cycle Inventories, qui a développé un outil méthodologique puissant, Ecoinvent, recensant les données de près de 2500 produits, régulièrement utilisés dans les Analyses de Cycle de Vie. Cette méthodologie, très complète, permet d'avoir une vision globale des systèmes de production agricoles, en intégrant 7 autres secteurs industriels (Frischknecht *et al.*, 2004). Le travail de Wells (Wells, 2001) en Nouvelle-Zélande s'inscrit lui, dans une longue lignée d'études répondant à une démarche d'économies d'énergie. Il est intéressant dans le sens où il propose une conception tridimensionnelle de la consommation énergétique et où les coefficients énergétiques sont relativement complets. L'ambition de Dalgaard (Dalgaard *et al.*, 2001) était de discuter du caractère durable de la production agricole selon diverses pratiques culturelles en considérant la consommation énergétique comme indicateur de durabilité.

Avec la croissance accélérée du commerce international, les questions ont porté sur l'importance des coûts de transport ainsi que sur les externalités environnementales de ce transport, notamment en Angleterre qui structure l'essentiel de son approvisionnement alimentaire par un approvisionnement sur les marchés internationaux. Les Britanniques ont

alors développé le concept de *Food Miles* (approfondi par le DEFRA) (A.E.A Technology, 2005). La question énergétique y est abordée par le transport. Les « *Foods Miles* », représentant la distance parcourue par une denrée alimentaire de son lieu de production à celui de sa consommation par l'homme. Bien qu'innovante cette approche est également contestée. En effet, la distance en soi n'est qu'un attribut d'un indicateur plus complexe. La signification de cet attribut implique de standardiser la valeur par une certaine mesure de quantité (i.e. km alimentaire/tonne).

Enfin en France, depuis les années 2000, l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) première institution française concernée par ces questions conduit des travaux de recherches méthodologiques notamment sur trois sujets : (i) clarifier les écobilans énergétiques des biocarburants (ADEME, 2002) ; (ii) les conditions de viabilité économique et financière des productions horticoles sous serre (tomates, fleurs) compte tenu de la croissance accélérée du prix du gaz utilisé pour le chauffage de ces serres (ADEME, 2007) ; (iii) étude des émissions de GES avec la mise en place d'un outil, le Bilan Carbone® (ADEME, 2007).

Cette revue bibliographique souligne un certain nombre de contributions de ces différentes démarches mais permet également d'identifier leurs principales limites que nous proposons de caractériser. Ces travaux en effet permettent de consolider la construction du bilan énergétique et soulignent l'importance des référentiels en termes de coefficients énergétiques. Ils distinguent trois types d'énergie : l'énergie directe, l'énergie indirecte et l'énergie mobilisée dans la fabrication des biens d'équipements. Fortement corrélés à cette distinction, les coefficients énergétiques transcrivent les différents flux entrants en unité énergétique. En revanche ils rencontrent un certain nombre de limites qui conduisent à ouvrir deux controverses méthodologiques.

### ***Les imprécisions sur les niveaux d'analyse***

La première d'entre-elle porte sur leur capacité à intégrer une démarche de filière au sens technologique conduisant à réellement analyser la consommation de toutes les sources d'énergie utilisées dans le cadre du processus complet d'élaboration et de consommation d'un produit. Ainsi la majorité des études se situe au niveau de la production, de l'exploitation. La question a peu été appréhendée dans un système plus global. Or d'un point de vue économique et financier, on ne peut se restreindre à cette échelle. Les filières de production agricole sont bien trop dépendantes du système agroalimentaire global, et surtout de l'aval de la filière, qui les façonne largement, on ne peut donc les isoler.

Une deuxième limite porte sur leurs conditions d'élaboration principalement focalisées sur les productions céréalières et le transfert de coefficient énergétiques sur d'autres productions qui ont des spécificités technologiques différentes. En l'occurrence, les filières fruits et légumes frais qui mobilisent souvent des conditions logistiques spécifiques ont été systématiquement oubliées. En conséquence, des caractères spécifiques à la filière ne sont pris en compte. C'est notamment le cas pour les plants (et non pas les semences), les chambres froides, l'utilisation de plastique pour le paillage et la solarisation, les serres... Même si la distinction conventionnel vs. biologique est abordée, aucune référence n'est faite quant au mode de conduite culturale (plein champ, sous abris). Ceci pose des problèmes en termes de références pour ces variables.

Le raisonnement en terme d'impact environnemental et non pas de coût économique, est également une source de biais. Les objectifs étant différents, certains éléments ont plus d'importance que d'autres, qui sont alors négligés. Ainsi dans certaines études, seules les énergies non renouvelables sont traitées. Or la consommation d'énergies renouvelables implique elle aussi, des coûts énergétiques.

### ***Une qualité des données controversée***

Une troisième limite est liée à leur ancienneté (années 80 et 90) qui donne une nomenclature de coefficients énergétiques qui sont encore utilisés alors que d'importants changements techniques se sont produits dans les différentes filières et que fréquemment les conditions d'élaboration de ces indicateurs restent plutôt opaques. Aujourd'hui, il apparaît que les itinéraires technico-économiques sont relativement imprécis et incomplets. Par ailleurs, pour évaluer le coût énergétique d'un élément, on a recours à des coefficients énergétiques. Ces derniers s'appuient sur le concept de cycle de vie et sont censés représenter la consommation totale d'énergie qui a été nécessaire pour rendre disponible cet élément. Or pour certains d'entre eux, les données sont difficilement mobilisables, ce qui pose le problème de rupture de chaîne, et donc d'incomplétude des informations

L'analyse des approches récentes en terme de *Food miles* ou de bilan carbone (Food Miles, bilan Carbone®...) qui rencontrent un large succès (i.e. Tesco, Mark & Spencer), montrent que ces limites restent présentes. Il semble nécessaire de compléter ces démarches méthodologiques et ces indicateurs par des travaux de recherche transparents et vérifiables pour éviter la constitution de « boîtes noires » rapidement manipulables pour des objectifs divers. Nous proposons donc un prototype de grille d'évaluation qui tente d'intégrer les principales limites repérées dans les travaux passés et sur le cas du secteur des productions horticoles.

## **2. Proposition d'un prototype de grille d'évaluation :**

### ***Intérêt méthodologique et objectif***

La démarche propose de calculer le coût économique de la consommation en énergie, tout au long d'une filière de la production à la première mise en marché. Cette démarche nous permet de simuler l'impact d'une hausse des prix de l'énergie sur les filières horticoles. Elle nous conduit entre autres, à proposer une méthode de localisation des lieux d'innovation permettant d'anticiper les trajectoires technologiques des systèmes de production

Pour cela, dans le premier volet de l'étude, il est proposé, à partir de la construction d'une matrice de coefficients énergétiques, de quantifier les flux et de faire une évaluation de la consommation énergétique.

Le second volet est consacré à l'évaluation économique des coûts énergétiques, à partir d'une unité d'énergie commune et d'un indicateur de prix de l'énergie basé sur celui du baril de pétrole, l'objectif étant de pouvoir faire des comparaisons à la fois intra et inter-filière. L'approche propose également d'évaluer symétriquement les coûts réels et certains coûts cachés, dans les limites de faisabilité actuelle, tel que le coût énergétique de la gestion et du recyclage des déchets (plastique, emballages produits phytosanitaires, déchets végétaux de l'industrie de transformation etc.).



### ***Justification du champ de l'étude***

Le secteur agroalimentaire est un secteur particulier, dans le sens où l'ensemble des acteurs est en forte interaction, où la grande distribution a un poids décisionnel important, ce qui conduit à un pilotage de la filière par l'aval. Ceci se vérifie d'autant plus dans la filière fruits et légumes où les producteurs organisent leurs productions en fonction des demandes de la grande distribution, par le biais des organisations de producteurs et des plateformes de groupage, directement en lien avec les centrales d'achat des grands groupes de distribution. De cette organisation résulte logiquement de nombreux cas d'intégration sur certains segments de la filière.

### ***Cadre méthodologique d'élaboration à partir d'enquête à dires d'expert***

L'approche méthodologique proposée a été élaborée à partir de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), ou Life Cycle Assessment (LCA) ou écobilan. Apparue dans les années 70, aujourd'hui normalisée par la série ISO 14040, cette méthode consiste à évaluer les impacts environnementaux de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, d'un service ou d'un procédé, de l'extraction des matières premières, en passant par la fabrication, le transport, la distribution, l'utilisation et jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, incinération, recyclage, etc.). Pour cela elle fait l'inventaire des flux entrants, c'est-à-dire les ressources utilisées (consommations de matières premières, d'eau et d'énergie) et des flux sortants c'est-à-dire les émissions (rejets dans l'eau et dans l'air, production de déchets, effet de serre, pollution des eaux et des sols...). Certaines nuisances ne sont pas prises en compte, telle la pollution sonore, la pollution visuelle et le dégagement de mauvaises odeurs. C'est une méthode longue et fastidieuse mais pertinente en matière de gestion de l'environnement.

Il est important d'insister sur le fait que nous n'avons pas appliqué cette méthode dans sa totalité mais que nous nous en sommes inspirés. En effet les ACV sont essentiellement portés sur la dimension environnementale, or nous nous sommes intéressés uniquement à la composante énergétique de l'écobilan et à sa dimension économique.

D'un point de vue pratique, la démarche méthodologique s'est construite en mobilisant les limites des différentes méthodologies existantes et en réalisant des enquêtes à dire d'expert auprès d'un réseau de professionnels impliqués dans les filières considérées. Ainsi, deux expérimentations préliminaires ont eu lieu sur la salade et le melon, qui ont permis de caractériser les itinéraires technico-économiques et d'identifier les sources de consommation d'énergie. L'étude de la filière tomate avait pour objectif de valider l'adaptabilité de la méthode à diverses filières horticoles. C'est à partir de ces études de cas qu'ont été construites les hypothèses suivantes ainsi que le contenu de l'évaluation proposé.

### ***Hypothèses de cadrage méthodologique***

Cette méthode propose de différencier les phases de production, de conditionnement et de transport ainsi que trois niveaux d'analyse énergétique (énergie directe, indirecte et énergie issue du capital) identifiés dans la revue bibliographique. Notre approche n'inclut pas la phase de distribution finale au consommateur.

La phase de production s'étend du début de la culture jusqu'à l'arrivée à la station de conditionnement, c'est-à-dire qu'elle comprend le transport local des produits. La phase de

conditionnement s'étend de l'agréage au chargement. Enfin, la phase de transport final s'achève à l'arrivée chez le client (centrales d'achat, grossistes...)

Les sources directes d'énergie sont communes aux trois phases: produits pétroliers, électricité, gaz et combustibles minéraux. Pour la phase de production, on considère comme énergie directe : les engrais, les produits phytosanitaires, les plants, le plastique et film de protection. Le capital d'une exploitation comprend le matériel agricole, le système d'irrigation et les infrastructures, en particulier les serres. Pour la phase de conditionnement, l'énergie indirecte est issue principalement des matériaux de conditionnement (caisse plastique, palettes, cellulose moulée, cageot, carton, sachet plastique...). Les stations de conditionnement sont fortement dotées en capital, de par les chaînes de production, les chambres froides, les transpalettes, les bâtiments... Enfin, pour la phase d'expédition/transport, en plus des énergies directes, on considérera uniquement l'énergie issue du capital, induite par les moyens de transport (camions, bateaux...).

Afin de comparer les consommations énergétiques, l'unité employée est le mégajoule (MJ), puisque le joule est la seule unité de mesure de l'énergie reconnue par le Système International (SI). La matrice de coefficients énergétiques utilisée est issue de la littérature. Ils sont exprimés en MJ/unité propre (MJ/tonne, MJ/MWh, MJ/litre...).

Le coût énergétique des différents éléments du bilan énergétique est exprimé en MJ/tonne (de production), et non pas en MJ/ha, puisqu'à la différence des méthodes prenant uniquement en compte la phase de production, l'unité de surface ne peut pas être une unité employée dans les phases de conditionnement et de transport. Ce coût est ensuite converti en Tonne Equivalent Pétrole (tep) pour faciliter l'évaluation financière.

Pour terminer, il est important de revenir sur les éléments « cachés » de l'évaluation, à savoir la gestion et le traitement des déchets. Se contenter de la seule « consommation d'énergie de premier plan », la consommation évidente, qui représente un coût financier direct pour les différents acteurs de la filière, serait contradictoire avec l'objectif premier de la problématique énergétique en agriculture, à savoir le développement durable. En effet, cette notion implique de raisonner dans un espace temps dynamique et de considérer les générations futures, il est donc impératif de prendre en compte cette dimension dans l'évaluation. Il n'a pas été possible dans ce travail, de par le temps imparti et les moyens attribués, de prendre en compte cet aspect du coût énergétique agricole. Mais il est quand même suggéré d'intégrer la valeur de cette consommation énergétique supplémentaire aux coefficients énergétiques déjà existants.

### ***Indicateurs économiques et financiers de l'évaluation***

L'objectif de cette étude était d'une part de combler le déficit de connaissances en termes d'analyse de filière, conduisant à identifier les acteurs, différencier les circuits en fonction des itinéraires techniques et quantifier les flux. Cette démarche avait pour but d'autre part, de pouvoir conceptualiser l'évaluation des coûts énergétiques (en volume, financièrement et économiquement).

Comme cela l'a été présenté, les coûts énergétiques ont été évalués à partir des coefficients énergétiques. La difficulté qui apparaît alors concerne l'évaluation « monétaire » et plus particulièrement le prix à appliquer. La question ne se pose pas pour les consommations directes d'énergie (gaz, électricité, carburants...), les prix sont fixés par le

marché et donc accessibles. Par contre, quel prix appliquer au coût énergétique des intrants et du capital, du fait du recours à de multiples sources d'énergie dans les processus de fabrication? Est-ce possible d'avoir un prix unique et global, ou bien faut-il déterminer un vecteur de prix pour prendre en compte chacune des sources directes d'énergie utilisées ?

Afin d'obtenir des résultats les plus réalistes possibles, l'indicateur de prix idéal aurait consisté à appliquer un vecteur de prix à chacune des sources de consommation d'énergie (intrants directs et capital) mais cette méthode est longue, et on se trouve souvent confronté à un accès difficile aux données voire à une absence des données.

Pour dépasser cet obstacle méthodologique, il est proposé de convertir le coût énergétique total en Tonne Equivalent Pétrole (Tep), initialement exprimé en Méga Joules (MJ). En effet, en raisonnant à partir de cette unité, il est possible d'utiliser le prix du baril de pétrole, dont le cours est évalué quotidiennement. Par ailleurs, cette nouvelle unité offre l'avantage d'avoir une représentation psychologique plus évidente pour des individus non initiés. Ainsi, nous proposons de calculer le coût financier (€ ou \$/tonne) à partir du prix du baril de pétrole (€ ou \$/baril), sachant qu'une tonne de pétrole brut (1 tep) varie entre 7 et 9,3 barils, soit une moyenne mondiale de 7,6 barils par tonne.

### ***Contenu de l'évaluation***

Cette partie décrit les éléments à prendre en compte dans l'évaluation du coût énergétique d'une filière, ainsi que leur méthode de calcul. On distingue les sources d'énergie directes, indirectes et induites dans les 3 phases de la filière (production, conditionnement/transformation, transport).

#### **A. Les sources directes d'énergie**

Le mix énergétique d'une entreprise caractérise les différentes sources d'énergie utilisées. Quatre sources ont été ici considérées: les combustibles minéraux, le pétrole brut et les produits pétroliers raffinés, l'électricité et le gaz (naturel et industriel).

L'évaluation des consommations directes d'énergie, peut se faire soit par une méthode empirique soit théorique, en fonction des données disponibles (utilisation de données génériques ou spécifiques). En effet, si les données de consommation sont accessibles directement auprès des acteurs, il est possible d'avoir les consommations réelles, différenciées selon le type d'énergie (gasoil, fioul lourd, sans plomb, électricité...). Sinon, un calcul théorique permet d'évaluer ces consommations. Dans ce cas, il faut prendre en compte toutes les opérations consommatrices d'énergie, et évaluer leurs consommations à partir des consommations unitaires établies.

Pour cela, lors de la phase de production, on différencie les divers matériels utilisés, leur consommation unitaire, la surface travaillée en ha (d'après le nombre de passage) ou le nombre d'heures d'utilisation (pour les pompes d'irrigation), ce qui permet de conclure sur la consommation totale (en litres, en MWh ou en tonnes), à laquelle on applique le rendement de production (tonnes/ha) de façon à obtenir la consommation par tonne de production et donc appliquer le coefficient énergétique (MJ/litre, MJ/MWh ou MJ/tonne). La consommation de lubrifiant est linéairement corrélée à la consommation de carburant, on l'estime équivalente à 20%. Pour la phase de conditionnement, principalement pour les chaînes de production et les chambres froides, on raisonne à partir de la durée d'utilisation et de la puissance des moteurs.

Quant à la phase de transport, les consommations de carburants sont également calculées à partir des consommations unitaires des différents modes de transport et type de véhicules (litres/100km ou litres/jours), auxquelles on applique les taux de distance à vide et de remplissage. Le coût énergétique tient ensuite compte du volume transporté (tonnes) et de la distance parcourue (km ou miles), il est exprimé en MJ/tonne/km.

Considérons maintenant les consommations indirectes incluses dans le capital des phases de production, de conditionnement et de transport.

## B. La phase de production

### a. Les consommations indirectes d'énergie

Les engrais sont réputés pour être de gros consommateurs d'énergie dans leur cycle de production. Les trois éléments nutritifs basiques sont l'azote, le phosphore et la potasse. La chimie intervient surtout dans la production d'engrais azoté, qui est issu de l'ammonium, qui lui-même réagit avec le dioxyde de carbone pour produire l'urée. Ce procédé nécessite un apport important d'énergie, fournie par le gaz naturel. Le phosphore est lui issu du rock phosphate et la potasse du chlorure de potassium. La chimie intervient également pour la fabrication des engrais composés (qui contiennent deux ou trois éléments nutritifs : NP, PK et NPK).

La technique utilisée dans cette étude pour calculer les besoins en énergie de ces engrais, a été d'estimer les besoins pour la production de chaque unité de N, P, K. Les coefficients énergétiques prennent en compte l'extraction minière, la formulation, le conditionnement, le transport et la distribution. Pour évaluer le coût énergétique de la consommation d'engrais (MJ/ha), il est nécessaire de connaître la consommation par hectare (kg/ha), que l'on normalise à une tonne de production agricole, par le biais du rendement exprimé en tonne/ha.

Les produits de protection des cultures, phytosanitaires, sont classés en trois catégories : insecticides, fongicides, herbicides. Le coût énergétique (en MJ/tonne) de leur consommation est dépendant du volume appliqué (kg/ha), du rendement (tonne/ha).

Pour la détermination du coefficient énergétique d'une graine, il faut différencier l'énergie intrinsèque, métabolisable, et l'énergie nécessaire pour faire germer une graine. Il est aussi possible d'utiliser des plants en mottes, auquel cas le coût est différent.

Dans les filières fruitières et maraîchères, le plastique représente un poste de consommation important. Il est utilisé à la fois pour le paillage et la solarisation des cultures, c'est le matériau de base des serres (tunnel) et du matériel d'irrigation, le conditionnement des produits est sous emballages plastiques, etc.

Le coût énergétique du plastique utilisé sur une exploitation, dépendra du poids consommé (en kg ou tonnes de plastique par hectare puis tonnes de production), soit de la surface appliquée par hectare de champ, de l'épaisseur ( $\mu$ ) (cas du paillage), du poids unitaire (en kg/m<sup>2</sup>). Le coefficient énergétique sera exprimé en MJ/kg, il sera différent selon le type de plastique appliqué (polyéthylène, propylène).

#### b. Les consommations induites par le capital

Dans les activités horticoles, il y a quatre postes de consommation énergétique induite par le capital : les matériel/outils, les bâtiments/serres, le système d'irrigation et dans le cas de culture chauffée, le système de chauffage. Les consommations induites sont dans la plupart des cas fonction du poids de l'élément considéré, et toujours de la durée de vie et donc de l'amortissement.

Le calcul du coût énergétique d'une serre doit lui être fonction de la surface couverte, et bien évidemment de la durée de vie (6 ans pour un tunnel plastique de 8m de large). D'autre part, du fait d'une succession des cultures sous une même serre durant l'année, il ne suffit pas d'appliquer uniquement le taux d'amortissement mais également une quote-part qui est fonction des mois d'utilisation de la culture en question.

Pour le système d'irrigation nous proposons de prendre en compte un réservoir d'eau - dont le coût énergétique est fonction de la surface (2,1GJ/ha) et de l'amortissement (30ans) - le système de distribution (pompe, tuyau, forage...), auquel cas on distingue plusieurs types d'irrigation : irrigation à la raie (25GJ/ha), le goutte-à-goutte (13,5GJ/ha) et l'aspersion par pivot central (12,5GJ/ha).

Enfin, le dernier élément à prendre en compte et surtout ne pas oublier, est le coût énergétique du transport intermédiaire entre l'exploitation et la station de conditionnement. La consommation induite par le véhicule est fonction du poids moyen à vide, de la durée de vie, et du volume de la production transporté par an, lui-même fonction du rendement.

#### C. La phase de conditionnement

Comme pour les autres phases, il est nécessaire de prendre en compte les consommations directes d'énergie, indirectes et induites par le capital.

Pour ce qui concerne les consommations indirectes d'énergie, on distingue plusieurs intrants (emballages plastiques, cartons, sachets, palettes, cornières...). Cette méthodologie propose de calculer leur coût énergétique en considérant le composant principal, la quantité utilisée pour une tonne de production, le poids unitaire (kg), de façon à évaluer le poids total (en kg) pour une tonne de production, auquel on appliquerait le coefficient énergétique du matériau considéré (MJ/kg).

La chaîne de conditionnement est constituée de plusieurs éléments (vide caisse, cerceuse, pose cornière, palettiseur, essoreuse, ...). L'évaluation du coût énergétique induit par ce capital est dépendante de la masse d'ensemble, de la durée de vie (en année) et du volume traité par an (tonnes).

Le système de refroidissement se compose d'un réfrigérateur, de pompes, de compresseurs et de ventilateurs. Il influence donc directement la consommation d'énergie, selon la puissance des moteurs de ces éléments. Pour calculer le coût énergétique de ce matériel, il faut tenir compte du poids (kg), de la durée de vie (années) du volume traité par an (tonnes).

Comme pour les autres immobilisations, le coût induit d'un transpalette est évalué à partir de son poids, de sa durée de vie, du volume traité par an (tonnes) et de son coût énergétique (MJ/kg).

#### D. La phase de transport

Le transport de marchandises s'est fortement accru depuis une vingtaine d'année. Il représente 66% de la consommation de produits pétroliers à usage énergétique en France, et plus précisément, le transport routier consomme à lui seul 80% de cette consommation.

Il y a plusieurs phases de transport tout au long de la filière : entre l'exploitation et la station de conditionnement, entre la station et le transporteur, et du transporteur au distributeur. Nous avons considéré dans la phase de transport, les phases de ramassage par les transporteurs auprès des stations de conditionnement et le transport principal. Ces deux phases doivent être différenciées car elles peuvent utiliser des modes de transport différents, qui ont donc une consommation et une utilisation tout à fait distincte.

Pour le transport routier, on prendra en considération les ensembles articulés frigorifiques (communément appelés « semi-remorque ») ; pour le transport maritime de fruits et légumes, on considère deux types de navires : les porte-conteneurs, et les navires rouliers sur lesquels on embarque directement les remorques des camions ou même les camions ; enfin, pour le transport aérien, on distingue les vols court-courriers (< à 100km), moyen-courriers (entre 1000 et 4000 km) et long-courriers (>4000km).

Pour le transport routier, on considère la classe de PTAC<sup>1</sup>, la consommation en litres/100km, le volume transporté et les distances parcourues (tonnes/km), le ratio de transport à vide et la part relative dans le transport total de la production considérée. La consommation directe d'énergie d'un navire est en fait double : d'une part il y a le fioul lourd nécessaire à la propulsion, et d'autre part il y a le gasoil, nécessaire au fonctionnement interne du bateau. Ces volumes se calculent par jour. On calcule donc la consommation totale d'énergie primaire en tenant compte de la capacité de chargement du navire, du nombre de jours de voyages, et donc des consommations journalières d'énergie primaire.

Enfin la consommation d'énergie primaire d'un avion est fonction de la distance à parcourir (km), du chargement en carburant, de la part du fret par rapport aux passagers (en volume). On applique une majoration de 20%, pour tenir compte des distances réelles, qui sont généralement plus longues, et d'avions imparfaitement remplis.

Le coût énergétique contenu par un camion, est lui fonction du poids à vide, du volume transporté et des distances parcourues (tonnes/km), de la durée de vie (en km) et du coefficient énergétique (MJ/kg). Le coût énergétique induit par le navire est fonction du poids à vide, de la durée de vie (année), de la durée du voyage (jours ou mois) et du volume transporté (en tonnes). Enfin, le coût énergétique induit par l'avion est dépendant de son poids à vide, de sa durée de vie (en heures de vol), de la durée du voyage (en heure), et de la part du fret par rapport aux passagers (en volume).

---

<sup>1</sup> Poids Total Autorisé en Charge

### 3. Applications empiriques

Comme présenté précédemment, les expérimentations préliminaires sur la salade et le melon, ont été complétées par une étude sur la filière tomate, particulièrement bien adaptée et répondant de façon naturelle à l'ensemble des critères à développer, puisqu'elle permet d'explorer le plus grand nombre de cas de figure (zones de production x modes de transport x systèmes de production).

Le cadre d'observation se situait sur l'approvisionnement national. Il s'agissait de comparer des filières de produits frais approvisionnant le marché gare de Rungis et/ou les grandes surfaces du bassin parisien (Carrefour, Auchan...).

Les zones de pertinence furent fonction des circuits d'importation que nous cherchions à caractériser. Les terrains d'étude étaient donc le Maroc (Agadir), l'Espagne (Almeria) et les Pays-Bas, principales origines d'importation de tomate françaises, et la France (Sud et Bretagne).

Ainsi de par la considération de multiples sites de production, il a été possible de travailler sur divers modes de transport (routier, maritime). Nous avons pu prendre en compte différentes pratiques culturales (sous abris froid et sous-serre chauffée). Toutefois, l'évaluation n'a pu porter sur les trois dimensions du coût énergétique initialement envisagées (énergie directe, indirecte et induite). En effet, à ce jour, il n'y a pas eu de travaux rendant compte du coût énergétique induit par le capital, dans les phases de conditionnement et de transport, les données étant difficilement accessibles, mobilisables voire inexistantes. Cependant, cette incomplétude ne remet pas en cause la méthode, dans le sens où le capital est amorti sur de longues durées (10, 15 ou 20 ans), et ramené à la tonne de produit, ce coût peut être estimé comme infime.

Cette analyse de filière a permis de confirmer la particularité du secteur fruits et légumes et de mettre en évidence plusieurs de ses spécificités, qui sont peu prises en compte par les approches conventionnelles. Ainsi, l'étude des itinéraires technico-économiques a mis en évidence l'importance de prendre en compte le rendement (e.g. 9kg/ha en Espagne, 50kg/ha aux Pays-Bas) (Velden) et donc de raisonner en volume de production. Par ailleurs, la différence de structure (serre-verre chauffée ou abris froid plastique), les pratiques culturales (en sol ou hors-sol) ainsi que le niveau de technologie en place (système automatisé) influencent directement le coût énergétique, à travers les postes chauffage, irrigation, solution nutritive, protection phytosanitaire (e.g respectivement 26kg et 7,7kg de matière active en Espagne et en Hollande) (Velden), et substrat (5 tonnes de déchets/ha de culture). La consommation de plastique est également une source de consommation d'énergie importante (solarisation, paillage, couverture...).

En ce qui concerne la phase de conditionnement, cette dernière n'est presque pas référencée dans les méthodes. Les expérimentations ont pu montrer que quel que soit la zone considérée, l'itinéraire technique est plus ou moins semblable et que le conditionnement est relativement standardisé (plateau carton de 6kg). Une différence apparaît au niveau de la température de stockage en chambre froide (e.g 7-8°C au Maroc, 12-13°C en Bretagne). Cependant le temps de stockage avant expédition étant très variable compte tenu de la périssabilité des produits, il est difficile d'avoir une évaluation fiable à ce niveau.

Enfin, concernant la phase de transport, elle a plus particulièrement été abordée sous l'angle des émissions de GES que par celui de la consommation énergétique. Or le transport de fruits et légumes frais est relativement spécifique car il nécessite des véhicules frigorifiques et rapides. Ainsi quelque soit le moyen de transport (routier, maritime ou ferroutage), il faut d'une part de l'énergie pour le fonctionnement du véhicule (moteur) mais également pour la production de froid. Par ailleurs, l'efficacité énergétique des modes de transport est différente, notamment compte tenu du volume transportable.

Finalement, c'est l'arbitrage entre ces divers paramètres qui est source de variabilité entre les différents itinéraires technologiques étudiés.



#### **4. Résultats en cours**

La problématique énergétique revête une importance particulière en agriculture, tant d'un point de vue économique qu'environnemental. Aujourd'hui, on ne peut considérer le secteur agricole indépendamment d'un système plus global comme les filières agroalimentaires qui ne cessent de se développer.

Les principaux résultats conduisent à mettre en évidence les limites importantes des approches actuelles, conventionnellement utilisées dans l'évaluation des coûts énergétiques dans les filières, et à identifier les travaux nécessaires prioritaires pour mettre au point des démarches d'évaluation fiables. Ils conduisent de fait à orienter les recherches sur les systèmes productifs et à fournir des informations aux pouvoirs publics et acteurs des filières sur les trajectoires technologiques dans les filières horticoles.

Ce travail a donc consisté à élaborer les bases d'une méthode pour couvrir ces aspects et donc pour pouvoir appréhender le coût global de la consommation énergétique dans les filières fruits et légumes, de façon à envisager l'impact économique d'une hausse des prix de l'énergie.

Ainsi, la méthode envisagée se propose d'évaluer la consommation énergétique, selon trois niveaux - l'énergie directe, indirecte et l'énergie induite par le capital - au cours des grandes phases de la filière – la production, le conditionnement - le transport – la distribution. Elle donne également un indicateur de prix de l'énergie afin d'évaluer financièrement le coût énergétique. Enfin, elle propose la possibilité de prendre en compte la dimension gestion et traitement des déchets.

## **Conclusion**

Ce travail d'analyse et d'innovation méthodologique sur l'évaluation des coûts énergétiques dans les filières horticoles révèle comment les méthodes actuelles sont des construits institutionnalisés par des questions à des périodes précises et en conséquence pourquoi ces démarches rencontrent actuellement leurs limites. Il montre également que l'accès à des données suffisantes devient rapidement un facteur limitant pour la mise en œuvre de méthodologies trop détaillées. Enfin il confirme que si les analyses de cycle de vie constituent sur le plan technique des cadres de référence mobilisables, elles impliquent d'être enrichi par un paramétrage économique des coûts que représente la consommation des différentes sources d'énergie.

La dimension sociale induite par le coût énergétique de la production alimentaire, dont nous cherchons à évaluer le contenu, n'est en général que peu étudiée. Les résultats soulignent que l'accès aux sources de données ou la production de ces données est un facteur central qui remet en cause la pertinence des résultats actuels. De fait, ce critère de pertinence est au centre des futures méthodes qui vont émerger dans les différentes filières. La construction de ces indicateurs implique par conséquence des démarches interactives d'implication des acteurs dans leur élaboration. La construction d'indicateurs permettant de comparer le contenu énergétique des différents produits constitue un lieu actuel d'émergence de nouvelles normes qui pourrait mettre en concurrence les productions en fonction d'une part de l'origine géographique des produits, mais également des circuits logistiques de transport ou enfin des formes de distribution.

## Références

---

ADEME, 2007. *Guide des facteurs d'émissions. Version 5.0. Calcul des facteurs d'émission et sources bibliographiques utilisées*, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Janvier, 240p.

ADEME, 2007. *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres. Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs*, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Mars, 270p.

A.E.A Technology, 2005. *The validity of food miles as an indicator of sustainable development: Final report*, Department for Environmental Food and Rural Affairs (DEFRA), London (United Kingdom), July, 103p.

Antón V., 2004. *Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*, Universitat politècnica de Catalunya, Marzo, 235p.

Coxworth E., 1997. *Energy use trends in Canadian agriculture: 1990 to 1996. Report to the Canadian Agricultural Energy Use Data and Analysis Centre*, University of Saskatchewan, Saskatoon, December, 23p.

Dalgaard T., Halberg N., Porter J.R., 2001. "A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol 87, Issue 1, p. 51-65.

Ecobilan – Pricewaterhouse Coopers, 2002. *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France, Rapport technique - Version définitive*, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie/Direction des ressources énergétiques et minérales, Novembre, 132p.

Ecobilan - Pricewaterhouse Coopers, 2006. *Bilan énergétique et émission de GES des carburants et biocarburants conventionnels. Convergences et divergences entre les principales études reconnues (citées)*, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Juillet, 18p.

Frischknecht R., Jungbluth N., 2004. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Ecoinvent report No. 3*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf (Switzerland), May, 116p.

Frischknecht R., Jungbluth N., 2004. *Overview and Methodology, Ecoinvent report No. 1*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf (Switzerland), June, 67p.

Frischknecht R., Althaus H-J., Bauer C., Doka G., Heck T., Jungbluth N., Kellenberger D., Nemecek T., 2007. *The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Services*, LCA Methodology, February, 11p.

Icrisat 2008. *Battling Rising Food Prices with Productivity-Boosting Science*, 4 p.

Pimentel D., 1980. *Handbook of energy utilization in agriculture*, CRC Press, Boca Raton, Fla. (USA), 475p.

Rizet Ch., Keïta B. 2005. *Chaînes logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean*, Inrets-Dest, 85p.

Velden van der N.J.A, Janse J., 2004. *Sustainability of greenhouse fruit vegetables: Spain versus the Netherlands; development of a monitoring system*, International Society for Horticultural Science, Acta Horticulturae 655, pp.275-281.

Wells C., 2001. *Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study. Technical paper 2001/03*. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), New Zealand, August, 90p.

Wingert JL., (2006). « Un point sur les énergies fossiles », *les cahiers de Global Change : Développement énergie environnement : changer de paradigme*, n° 21, mai, p.12-16.